苦情発生の有無からみた実在住宅床振動の測定条件, 境界値の提示

THE MEASUREMENT METHOD OF ACTUAL HOUSE FLOOR VIBRATION
AND THE CRITERION TO PREVENT COMPLAINT FROM OCCUPANTS横山 裕^{*1}

Yutaka YOKOYAMA

This paper proposes the practical measurement method of floor vibration and the criterion to prevent the complaint from occupants. Using twenty actual wooden and light weight steel-frame floors, the vibration excited by human walking and previously developed "Excitation and Perception Apparatus" is measured. The applicability of the apparatus for actual houses is confirmed by comparing the vibration measurements. The relationship between the vibration measured by the apparatus and the data on the complaint is investigated by using sixty-eight actual floors. The proposed measurement method and the criterion enable to utilize the previously proposed evaluation method of floor vibration.

keywords : Floor Vibration, Actual House, Complaint, Walking, Measurement Method, Criterion

床振動, 実在住宅, 苦情, 歩行, 測定条件, 境界値

1. はじめに

建築物内の人間の動作により発生する床振動は、居住性の観点から重要な性能のひとつである。近年、床の軽量化、低剛性化などが原因で、歩行など日常的で軽微な加振力でも床に有感振動が発生し、苦情などにつながる事例が多数報告されている。

居住性からみた床振動の評価方法を提示するためには、実状に即しかつ安定性の高い床振動の測定方法の確立と、測定した床振動を評価するための定量的な評価指標の提示が必要である。小野と筆者らは、これらの枠組みに沿った床振動の評価方法を提示している^{1)~7)}。すなわち、実験室に設置した試料床を用い、試料床の振動と官能検査手法を適用して定量化した検査員の評価との関係から、床振動の評価指標を提示している。また、床振動の測定方法を確立する目的で、実状に即した加振、受振条件で床振動を測定できる床振動測定装置を開発し、面積910×910mmの試料床を用いて妥当性を検証している。ただし、これらの研究で提示した評価方法を実在建築物床の評価により広く活用するためには、以下の課題の解決が望ましい状況にある。

- ①面的広がりをもつ実在建築物床に対する床振動測定装置の適用性の確認
- ②実際の日常生活の中での居住者の評価と床振動の関係の把握
- ③実在建築物床を評価する場合の実用的な適用方法の提示

本報は、様々な木造、軽量鉄骨造実在住宅床を対象に、歩行と装置による床振動を測定、比較し、さらに居住者からの苦情発生の有無と床振動との関係を検討した経過、結果を述べるものである。

なお本報は、日本建築学会大会での発表⁸⁾に、さらに検討を加えたものである。

2. 本研究の目的, 範囲

本研究は、床振動測定装置の実在建築物床に対する適用性を確認するとともに、実際の日常生活の中での居住者の評価の例として苦情発生の有無をとりあげ、苦情発生の有無と床振動の関係を把握し、さらに苦情発生の有無の観点から実在建築物床を評価する場合の実用的な床振動の測定条件, 境界値を提示することを目的とする。

本研究で対象とする床は、設計段階での振動の予測などが困難で、かつ日本建築学会の「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」⁹⁾でも適用範囲外とされている、木造、軽量鉄骨造建築物床、およびRC造スラブ上などに施工された木造、軽量鉄骨造二重床(以降あわせて「木造、軽量鉄骨造床」と記す)とする。また対象とする床用途は、木造、軽量鉄骨造床で主要でかつ苦情発生事例が多い住宅の居室とする。ここで、住宅で発生する苦情の多くは、最も日常的でかつ避けられない動作である歩行による床振動を、同一室内にいる歩行者以外の居住者(以降単に「居住者」と記す)が近傍で感じる場合に発生していることから、本研究では歩行による床振動を近傍の居住者が感じる場合を対象とすることとする。さらに対象とする履物は、住宅内で一般的でかつ加振力が最も大きい¹⁰⁾、素足と近似した装着感を有するくつ下とする。

本報は、実在住宅床を媒体として、歩行と床振動測定装置による床

^{*1} 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., Graduate School of Science and Eng., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

振動を比較するとともに、苦情発生の有無と床振動の関係を検討するものであり、床の具体的な仕様と苦情発生の有無との関係の検討や、床振動の観点からよりよい床仕様の究明などは、議論の範囲外とする。

3. 既往の研究

実在建築物における人間の動作時の床振動と苦情などとの関係に関する研究例としては、苦情発生の有無と床振動の振幅、振動数の関係を統計的に検討し判別式を提示した檜田の研究¹⁰⁾が挙げられる。またこの他にも、個々の苦情発生事例に関する報告がある程度みられる。しかし、これらはいずれもRC造スラブなどを対象としたものであり、木造、軽量鉄骨造床を対象とした例はみあたらない。

一方、人間の動作時の床振動を再現できる装置を開発し、実在建築物床で適用性を確認した研究例はみあたらない。

4. 床振動の評価方法の概要

4.1 歩行時に発生する床振動の概要

図-1に、筆者らが測定した人間が歩行時に床に与える荷重の時間変化(荷重・時間曲線)および歩行時に発生する床振動(変形・時間曲線、加速度・時間曲線)の例^{5),6)}を、吉岡らが測定した足の接地状況との関係例¹¹⁾とともに示す。図に示した床振動の例は、周囲から縁の切れた床(図-2参照)に1歩着地して歩き抜けた場合のものである。

歩行時に発生する床振動は、一般に、かかとの先端が着地した時点の荷重のピーク p_1 により励起される床の固有振動数での減衰振動(加速度・時間曲線参照)と、足裏全体が着地した時点の荷重のピーク p_2 やけり出し時のピーク p_3 などに相応した動的変形(変形・時間曲線参照)が複合された、複雑な性状を示す^{1),9)}。

4.2 床振動の評価指標の概要

筆者と小野は、歩行時に発生する床振動の感覚上の大きさは、下式で表される物理量 $VI(2)$ (Vibration Index 2)で表示できることを明らかにしている³⁾。

$$VI(2)=0.2 \cdot \log(D_{\max})+0.5 \cdot \log(V_m)+\log(Th)$$

ここで $D_{\max}(\text{cm})$:最大変形量(図-1参照)

$V_m(\text{cm/s})$: $D_{\max}$ を T_m (図-1参照)で除した変形速度

$Th(\text{s})$:床の固有振動数での減衰振動の振幅が14.1Galまで減衰するのに要する振動減衰時間(図-1参照)

さらに筆者と小野は、 $VI(2)$ と官能検査手法を適用して構成した床振動の評価に関する心理学的尺度(床振動評価尺度)の関係を、床振動の評価指標として提示している⁴⁾。図-3に提示した評価指標の例を示す。図中の①~⑦の点線は、官能検査に用いた判断範ちゅうの床振動評価尺度上の位置を表すものである。

4.3 床振動の測定方法の概要

筆者らは、 $VI(2)$ の算出に必要な $D_{\max}$ 、 V_m 、 Th の安定した測定方法を確立する目的で、図-4に示す床振動測定装置を開発している^{5),6)}。床振動測定装置は、動的加振器、衝撃的加振器、受振器の3種の装置からなる。

動的加振器は、図-1に示したピーク p_2 などと同等の加振力を床に与える装置であり、衝撃的加振器は、ピーク p_1 などと同等の加振力を床に与える装置である。ここで、ピーク p_1 は動作の形態などの影響で大きくばらつくため、衝撃的加振器の仕様は、図-4の(2)に示す通り、加振力の分布の中心近傍を再現できる“中心仕様”と、最大近傍を

図-1 歩行時の荷重および床振動の例^{5),6)}

再現できる“最大仕様”の2種が設定されている。一方受振器は、歩行者や居住者の人体と近似した振動特性を有する1自由度振動系を床に付加する装置である。

床振動測定装置の妥当性は、図-2に示す面積910×910mmの試料床を用いて歩行と装置による床振動を測定、比較することにより検証されている。すなわち、動的加振器で歩行時の $D_{\max}$ 、 V_m を、衝撃的加振器で A_i 、 T_i を、また受振器で振幅の半減時間 Th (図-1参照)を再現できることが、確認されている。

4.4 床振動の評価方法の概要

4.2、4.3をまとめて、歩行時に発生する床振動の評価方法を、以下の通り提示した。

- 1) 床上の居住者が載っている位置(以降“居住点”と記す)に、居住者の人体の代替となる受振器を付加する。
- 2) 1)の状態、床上の歩行者が着地する位置(以降“着地点”と記す)を動的加振器で加振し、 $D_{\max}$ 、 V_m を測定する。
- 3) 1)の状態、着地点を衝撃的加振器で加振し、 A_i 、 T_i を測定する。
- 4) 1)に加え、着地点に歩行者の人体の代替となる受振器を付加し、ハンマーなどで床を打撃して Th を測定する。
- 5) 3), 4)で測定された A_i 、 T_i 、 Th から Th を算出する。
- 6) 2), 5)で測定、算出された $D_{\max}$ 、 V_m 、 Th から $VI(2)$ を算出し、評価指標(図-3)と照合して評価する。

以上であるが、実在住宅床を評価する場合には、着地点、居住点および $VI(2)$ を測定、算出する点(以降“測定点”と記す)と、3)で用いる衝撃的加振器の仕様を、適宜設定する必要がある。本研究ではこれらを床振動の測定条件として提示するとともに、この条件で測定される $VI(2)$ を用いて境界値を提示することとする。

試料床の振動特性の範囲
重量可変パネルの重量 w : 30.7~1073.5 kgf
固有振動数 f : 5.18~32.6 Hz
減衰定数 h : 1.19~10.2%

図-2 試料床の概要^{5),6)}

⑦非常に気になると思う ③やや気になると思う
⑥.....
⑤かなり気になると思う ①全く気にならないと思う
④.....

図-3 床振動の評価指標の例(履物:くつ下)⁴⁾

5. 本研究の研究手法

本研究の研究手法は、以下の通りである。

- 1) 種々の実在住宅から様々な木造、軽量鉄骨造床を選定し、着地点、居住点および測定点を適宜設定したうえで、数名の歩行者、居住者を用いて床振動を測定する。
- 2) 1)と同一の床および着地点、居住点、測定点で、床振動測定装置を用いて床振動を測定し、1)の結果と比較することにより、装置の実在住宅床に対する適用性を確認する。
- 3) 苦情発生の有無に関する何らかの資料が得られている多数の実在住宅木造、軽量鉄骨造床を対象に、着地点、居住点および測定点を適宜設定したうえで、床振動測定装置を用いて床振動を測定する。
- 4) 3)の結果と各床における苦情発生の有無との関係を種々検討し、床振動の測定条件および境界値を提示する。

図-4 床振動測定装置の概要^{5),6)}

6. 床振動測定装置の実在住宅床に対する適用性の確認

6.1 対象床および着地点、居住点、測定点の概要

歩行と床振動測定装置による床振動の測定、比較に用いる対象床として、実在する木造戸建住宅9棟(うち1棟は床板ALC造)、軽量鉄骨造戸建住宅9棟、RC造集合住宅2棟(木造二重床および軽量鉄骨造二重床各1棟)から各棟1室づつ、計20の居室の床を選定した。対象床には、一般的な材料、構法で床梁のスパンや各部材の寸法、間隔、接合方法などを種々変化させたものや、試作的要素の強いものも含まれていた。また対象床の仕上げは、いずれもフローリングであった。

各対象床上に、図-5に例示する要領で、歩行路、着地点、居住点、測定点を設定した。着地点は、対象床の中央付近で、かつ床架構との関係から、隣り合う床梁の中間かつ隣り合う根太の中間など、比較的振動が大きいと予想される位置に設定した。また一部の対象床で

図-5 歩行路および着地点、居住点、測定点の設定例

は、床梁と根太の交差部上などにも着地点を設定した。さらに着地点を含みかつ床梁または根太などと同じ方向に、歩行路を設定した。

一方、居住点は、床架構の間隔にあわせて、着地点から歩行路と直交する方向に900～1000mmの位置に設定した。また測定点は、着地点、居住点の近傍(150mm離れた位置)に設定した。ただし約半数の対象床では、実在住宅での測定上の制約から、居住点とその近傍の測定点を省略した。

6.2 歩行時の床振動の測定

6.2.1 測定要領

歩行時の床振動を、以下の要領で測定した。

(1)歩行者、居住者の属性

歩行者、居住者は、ともに成人男子(年齢：22～45歳、体重：49.0～97.4kgf)とした。これは、歩行者、居住者の性による床振動の差は小さい^{5),6)}こと、および住宅で苦情の対象となる事例が多い成人の加振力、人体の振動特性に基づいて床振動測定装置が開発されている^{5),6)}ことによる。

(2)歩行者数および測定回数

実在住宅での制約の範囲内で出来る限り多くの歩行者数×測定回数を確保することとし、結果的に3～4名×3～4回、または5名×2～3回の測定を行った。また、居住点を設定した対象床では、待機中の歩行者を順次居住者として用いた。

(3)歩行者の動作、居住者の姿勢

歩行者には、住宅内で通常行っている速さ、激しさで歩行するよう教示し、歩幅、歩調などの規定は行わなかった。歩行者は測定前に、着地点に足裏の中央が自然に着地するよう、歩行開始位置や歩数の調整をかねた練習を十分行った。一方居住者の姿勢は、立位、椅子腰掛位、座位の範囲では床振動に大きく影響しない^{3),4)}ことから、立位とした。居住者には、住宅内で通常想定される程度の足腰の弛緩状態で、かつ重心が居住点とほぼ一致する位置に立つよう教示した。

(4)履物

歩行者の履物は、2.で述べた理由からくつ下とした。また居住者の履物も、床振動に大きく影響しない^{3),4)}ことから、歩行者と同一のくつ下とした。

図-6 歩行時の床振動の測定結果の例

6.2.2 測定経過、結果

6.2.1で述べた要領で、歩行路上を数歩歩行した際の測定点の振動を測定した。測定は、測定点に設置した加速度計と、下階の床もしくは対象床周囲の壁体などほぼ不動とみなせる位置で支持した変位変換器を用いて行った。なお、最初に測定した対象床では、参考のため、床とは縁の切れた独立歩行路を周囲から掛け渡し、独立歩行路上から床上の着地点に1歩のみ着地してまた独立歩行路上に歩き抜けた場合の振動も測定した。

図-6に、測定の結果得られた変形・時間曲線、加速度・時間曲線の典型例を示す。図は最初に測定した対象床での結果であり、歩行路上を数歩歩行した場合の振動(図の(1))とあわせて、同一歩行者による独立歩行路を用いた1歩のみの振動(図の(2))も比較して示した。

図の(1)に示した変形・時間曲線は、4.1で述べたピーク p_2 、 p_3 などに相応した動的変形を両脚支持期(各ステップごとに約0.1sずつ存在する両足が接地している時間)を重ねてつなぎ合わせた形状をしており、歩行者が測定点近傍の着地点に接近するにしたがって変形が増加し、遠ざかるにしたがって減少する様子がうかがえる。一方、加速度・時間曲線に示すように、床の固有振動数での減衰振動は、木造、軽量鉄骨造床では一般に減衰が大きいため、多くの対象床で歩行ステップの周期(約0.5s)内に十分減衰していた。なお、加速度の最大値が数百Galを超える対象床がまれではなかったが、これらの値をそのまま日本建築学会の居住性能評価指針・同解説⁹⁾などと照合すると、明らかに著しく実状とかけ離れた評価となる。

また図の(1)と(2)の比較から、木造、軽量鉄骨造床では、最大値を含む単脚支持期の変形・時間曲線、および着地時の加速度・時間曲線は、前のステップの影響をほとんど受けないことが推察できる。

以上に例示した各対象床での測定結果から、振幅を(60kgf/歩行者の体重)倍して基準化したうえで、図に示す要領で着地点着地時の D_{max} 、 V_m 、 T_h を求め、 $VI(2)$ を算出した。

6.3 床振動測定装置による床振動の測定

6.2と同一の対象床および着地点、居住点、測定点で、床振動測定装置による測定を行った。着地点、居住点に設置した装置の架台は、対象床の周囲壁際など、剛性が高く、対象床の振動性状にほとんど影響しないとみなせる位置で支持した。測定は、測定点に設置した加速度計を用いて行い、さらに一部の対象床では、ほぼ不動とみなせる位置で支持した変位変換器も用いた。衝撃的加振器での測定は、中心仕

様と最大仕様の2種の仕様で行った。なお測定回数は、それぞれ3～5回程度とした。

図-7に、測定の結果得られた変形・時間曲線、加速度・時間曲線の典型例を示す。図の(1)は、動的加振器による測定結果の例として、不動点で支持した変位変換器で測定された変形・時間曲線と、加速度計による

測定結果を二重積分して得られた変形・時間曲線を比較して示したものである。加速度計による測定結果は、計器の仕様上3Hz以下の成分が除去されているため、変位変換器による直流(0Hz)成分まで含まれる測定結果とは異なる曲線が得られている。VI(2)の算出には直流成分まで含まれる曲線から得られる D_{max} 、 V_m が必要であるが、実在住宅では変位変換器を不動点で支持するのが困難な場合が多い。

ここで、動的加振器の加振力には床の固有振動数に近い成分は多くは含まれないことから、動的加振器による床応答の曲線の形状、すなわち振動数特性には、床の特性は大きくは反映されないものと想定できる。つまり、動的加振器による床応答の振動数特性は、3Hz以上と以下の成分の関係も含め、床によりほとんど変化しないものと想定できる。したがって、3Hz以下の成分が除去された曲線から得られる D_{max}' 、 V_m' (図-7の(1)参照)を用いて、直流成分まで含まれる曲線から得られる D_{max} 、 V_m を推定することが可能と考えられる。このことを確認する目的で、本研究では、振動特性の異なる種々の床を用い、 D_{max}' 、 V_m' と D_{max} 、 V_m の関係を検討することとした。

図-8に、図-2に示す試料床を用い、振動特性を図に示す範囲で種々変化させて求めた D_{max}' 、 V_m' と D_{max} 、 V_m の関係を示す。図に示す通り、両者は非常によく対応しており、回帰直線から以下に示す関係式を得ることができる。以上より本研究では、実在住宅では加速度計を用いて D_{max}' 、 V_m' を測定し、結果を下式に代入して D_{max} 、 V_m を求めることとした。

$$D_{max} = 2.5 \cdot D_{max}'$$

$$V_m = 2.9 \cdot V_m'$$

一方図-7の(2)は、衝撃的加振器による加速度・時間曲線の例を、また(3)は、着地点に受振器を付加し床をハンマーで打撃して得られた加速度・時間曲線の例を示したものである。図の(2)に示す通り、衝撃的加振器による加速度・時間曲線には二度打ちの影響が含まれ、かつ着地点に受振器が付加されていないため、 Th を求めるためには、

不動点で支持した変位変換器で測定された変形・時間曲線(直流(0Hz)成分まで含まれる)

加速度計による測定結果を二重積分して得られた変形・時間曲線(3Hz以下の成分が除去されている)

(1)動的加振器による測定結果

加速度・時間曲線

(2)衝撃的加振器による測定結果

i時点までの曲線

(2)の i 時点までの曲線に

(3)の d 時点以降の曲線を

振幅を A_i/A_d 倍して

つなぎ合わせ Th を求める

加速度・時間曲線

(3)受振器による測定結果

d 時点以降の曲線 (振幅を A_i/A_d 倍)

(4) Th の求め方の概要

図-7 床振動測定装置による測定結果の例

図-8 D_{max}' 、 V_m' と D_{max} 、 V_m の関係

A_i 、 T_l に受振器を用いて測定される床振動の減衰特性を何らかの方法で組合せる必要がある。しかし実在住宅では、床構造の複雑さの影響で、図-1に示した単純な構造の試料床での測定結果と異なり、振幅の半減時間 Th を求めるのが困難な場合が少なくない。

ここで、図-7の(2)と(3)の曲線を比較すると、(2)の i 時点近傍の曲線の形状は、(3)の d 時点近傍の曲線の形状と近似していることがわかる。これは、両者ともおもに床の固有振動数に近い成分での床応答であり、加振方法の影響は衝撃の大きさの違いによる振幅の差のみに現れることによるものである。よって本研究では、衝撃的加振器で再現される振幅と、ハンマーでの打撃により再現される減衰特性を組合せることにより、二度打ちの影響が排除された振動減衰時間を求めることとした。具体的には、衝撃的加振器による i 時点(図-7の(2)参照)までの曲線に、受振器による d 時点(図の(3)参照)以降の曲線を振幅を A_i/A_d 倍してつなぎ合わせる方法で、 Th を求めることとした。図の(4)に、 Th の求め方の概要を示す。

以上に述べた方法で、各対象床での測定結果から D_{max} 、 V_m 、 Th を求め、VI(2)を算出した。

6.4 床振動測定装置の実在住宅床に対する適用性の確認

6.2と6.3で測定、算出した歩行と床振動測定装置による D_{max} 、 V_m 、 Th 、VI(2)の関係を、図-9に示す。 D_{max} 、 V_m については、歩行時の測定結果の平均と動的加振器による測定結果との関係を示

す。また Th , $VI(2)$ については、歩行時の A_i によるばらつきが大きいことから、歩行時の測定結果の分布(最大、最小)と、衝撃的加振器(中心、最大仕様)による A_i の測定結果に受振器、動的加振器による測定結果を組合せて算出した結果との関係を示す。

上段の関係図から、動的加振器で歩行時の D_{max} , V_m の平均を、おおむね再現できていることがわかる。一方、中、下段の関係図から、一部の対象床で、歩行時の Th , $VI(2)$ の分布の中心、最大近傍が、衝撃的加振器(中心、最大仕様)と受振器、動的加振器による Th , $VI(2)$ より小さくなっていることがわかる。これは、実在住宅での測定の際の歩行者数の制約によるものである。すなわち、測定に用いた歩行者の中には、かかとの先端が着地した時点の荷重のピーク p_1 (図-1参照)が非常に大きく、分布の上限近傍の歩行者が数名いたが、一部の対象床では、測定の際これらの歩行者を用いることができなかったため、 Th , $VI(2)$ の分布が小さい方向にずれたことによるものである。しかし、他の対象床では両者は比較的良好に対応していることから、上述の事情を考慮すると、衝撃的加振器(中心、最大仕様)と受振器、動的加振器で歩行時の Th , $VI(2)$ の分布の中心、最大近傍をおおむね再現できているとみなしてかまわないものと考えられる。

以上より、面的広がりや有し曲げ変形が支配的となる実在住宅床に対しても、床振動測定装置を歩行時の床振動を再現する装置として適用できることが、確認できたといえる。

図-9 歩行と床振動測定装置による床振動の関係

7. 苦情発生の有無と床振動との関係の

検討および測定条件、境界値の提示

7.1 対象床および着地点、居住点、測定点の概要

苦情発生の有無に関する何らかの資料が得られている、木造戸建住宅17棟(うち1棟は床板ALC造)、軽量鉄骨造戸建住宅13棟およびRC造集合住宅1棟(軽量鉄骨造二重床)から、それぞれ31室、36室および1室、計68の居室の床を対象床として選定した。対象床の仕上げは、いずれもフローリングであった。

各対象床上に、図-10に例示する要領で、着地点、居住点、測定点を設定した。着地点は、各対象床ごとに中央付近を中心に1~3点設定した。着地点の設定にあたっては、床架構などを参考に、対象床上での最大に近い振動が得られると予想される位置を含むよう留意した。

また居住点は、床架構の間隔にあわせて、着地点から900~1000mmの位置に設定した。ただし後半に測定した約半数の対象床では、7.3で述べる通り、それまでの測定結果から居住点の設定が必ずしも必要でないことが明らかとなったため、実在住宅での測定上の制約を考慮し居住点を省略した。

さらに測定点は、着地点と、着地点から床梁、根太などの方向に900~1000mmの位置に4点の、計5点を設定した。したがって居住点を設定した対象床では、測定点のひとつと居住点が一致した。なお、対象床の面積が小さく着地点から所定の距離がとれない場合には、該当する測定点を省略した。

図-10 着地点,居住点,測定点の設定例

7.2 床振動測定装置による床振動の測定

7.1で述べた対象床および着地点, 居住点, 測定点で, 床振動測定装置による測定を行った。測定は, 1994年12月～2000年3月の間に行った。着地点, 居住点に設置した装置の架台は, 6.3で述べたと同様の方法で支持した。測定は, 測定点に設置した加速度計を用いて行った。衝撃的加振器での測定は, 中心仕様と最大仕様の2種の仕様で行った。また居住点を設定した対象床では, 居住点に受振器を付加した場合の他に, 参考として付加しない場合の測定も行った。なお測定回数は, それぞれ3～5回程度とした。

各測定点での測定結果から, 6.3で述べた方法で D_{max} , V_m , Th を求め, $VI(2)$ を算出した。

7.3 苦情発生の有無と床振動との関係の検討および測定条件, 境界値の提示

7.2の測定結果は長期間にわたる膨大なものであり, かつ実在住宅での測定上避けられない様々な不確定要因が含まれるため, 全測定結果を対象とした定量的な検討を当初から行うのは困難と考えられる。よって本研究では, はじめに全体的な傾向に関する定性的な検討を行って実状に即した測定条件を提示し, つぎに提示した条件で測定, 算出された $VI(2)$ と苦情発生の有無との関係を定量的に検討し境界値を提示することとした。

7.3.1 床振動の測定条件の提示

各対象床で測定された $VI(2)$ 相互の関係, および $VI(2)$ と苦情発生の有無との関係から, 以下の事項が考察された。

- ①居住点を設定した対象床で, 居住点に受振器を付加した場合の居住点の $VI(2)$ は, 付加しない場合とほぼ同等かもしくは若干小さくなる。これは, 居住者の人体の振動特性を置換した受振器により, 床振動が若干吸収されることによるものと思われる。一方居住点以外の測定点の $VI(2)$ は, 居住点に受振器を付加した場合としない場合とでほとんど変化しない。
- ②居住点を設定した対象床の, 居住点の $VI(2)$ と苦情発生の有無との関係に, 明確な傾向はみられない。すなわち, 7.1で設定した居住点は, 苦情発生の有無の観点から床を評価するうえで, 必ずしも実状に即しているとはいえないことがうかがえる。一般に, 任意の実

図-11 $VI(2)$ と苦情発生の有無の関係

在住宅床を評価する場合, 実状に即した居住点を特定するのは困難な場合が多いと考えられる。

- ③各測定点での $VI(2)$ のうち, 苦情発生の有無との関係に最も明確な傾向がみられるのは, 対象床上での最大に近い振動が得られると予想される位置に着地点を設定した場合の, 着地点での $VI(2)$ である。また, 衝撃的加振器の中心仕様と最大仕様では, 最大仕様での測定結果から算出した $VI(2)$ の方がより明確な傾向がみられる。すなわち, いずれの対象床でも, その対象床上で発生する最も大きな振動が, 苦情発生の有無と深く関係していることがうかがえる。この結果は, 床振動は, 日常生活において一度でも感じてしまうと, 以降居住者の意識が高まり苦情などにつながる可能性が高いことを, 示唆しているものと考えられる。

以上の考察に加え、評価方法の実在住宅床へのより広い活用を図るうえで重要な測定簡便さも考慮し、苦情発生の有無からみた床振動の測定条件を以下の通り提示する。

- ・着地点：対象床上での最大に近い振動が得られると予想される位置に設定する
- ・居住点：設定しない(着地点の振動にほとんど影響しないため)
- ・測定点：着地点の振動を測定する
- ・衝撃的加振器の仕様：最大仕様とする

7.3.2 床振動の境界値の提示

図-11に、7.3.1で提示した条件で測定、算出された $VI(2)$ と苦情発生の有無との関係を示す。図は、全対象床を $VI(2)$ の順に縦軸に並べ、苦情発生の有無を○、△、×の記号を用いて表示したものである。

図中の×は、実際に苦情が発生した床や、試作あるいは引き渡し前の段階で開発、営業担当者が「おそらく苦情が発生する」と判断し何らかの措置をとった床(以降あわせて「苦情発生床」と記す)を表す。また○は、これまで苦情が発生していない床や、開発、営業担当者が「おそらく苦情は発生しない」と判断した床(以降あわせて「苦情未発生床」と記す)を表す。さらに△は、○と×の間の、苦情までには至らなかったものの居住者から「振動する」などの指摘があった床や、開発、営業担当者が「ボーダーライン上」と判断した床を表す。

図より、網掛けで示す $-0.9 < VI(2) < -0.8$ の床はおもに△、それより振動が大きい $-0.8 < VI(2)$ の床はおもに×、振動が小さい $VI(2) < -0.9$ の床はおもに○となっていることがわかる。ここで、 $VI(2) < -0.9$ でも一部の床が×あるいは△となっているが、これらの床での苦情などの内容を詳細に検討した結果、歩行時に建具、家具、食器などから発生するがたつき音や、床から発生する歩行音、あるいは観葉植物、照明器具、視覚情報機器(テレビやパソコンのモニタなど)の揺れなど、聴覚的、視覚的要因が影響し苦情などにつながったことが考察された。すなわち、聴覚的、視覚的要因が関与する場合、より小さなレベルの振動制御が要求されることが示唆された。

以上より、居住者が足部、臀部などの接床部位での触覚で感じる振動を対象とした場合、○と△の境界値を -0.9 、△と×の境界値を -0.8 とみなしても、大きな間違いはないと思われる。よって本研究では、苦情発生の有無からみた床振動の境界値を、以下の通り提示する。

- ・苦情が発生しない可能性が高い範囲と
発生する可能性がある範囲の境界値： $VI(2) = -0.9$
- ・苦情が発生する可能性がある範囲と
発生する可能性が高い範囲の境界値： $VI(2) = -0.8$

ただし、上記境界値はあくまでも現段階までに蓄積された測定結果から求めたものであり、今後さらなる測定結果の蓄積により、逐次妥当性を検証してゆく必要があることを付け加える。

8. おわりに

本研究の結論をまとめると、以下の通りである。

- 1) 様々な実在住宅木造、軽量鉄骨造床を対象に、歩行と床振動測定装置による床振動を測定、比較した。その結果から、面的広がりをする実在住宅床に対しても、歩行時の床振動を再現する装置として床振動測定装置を適用できることを確認した。
- 2) 多数の実在住宅木造、軽量鉄骨造床を対象に、苦情発生の有無と床振動測定装置による床振動との関係を検討した。その結果から、苦

情発生の有無の観点から実在住宅床を評価する場合の実用的な床振動の測定条件および境界値を、7.3で述べた通り提示した。

以上であるが、2)で提示した測定条件、境界値は、あくまでも苦情発生の有無からみた実在住宅床の評価に床振動の評価方法を適用する場合の例であり、他の場合には別途適用方法を検討する必要があることを付け加える。なお今後は、実在住宅床で得られた境界値など従来の実験室での官能検査結果から得られた評価との関係や、より小さなレベルの振動制御の必要性が示唆された聴覚的、視覚的要因の影響を含む床振動の評価方法などについて、研究を進める予定である。

謝辞

本研究のテーマ設定などにあたり種々御指導いただいた小野英哲先生(東京工業大学教授・工博)に厚く御礼申し上げます。また、実在住宅での床振動測定に御協力いただくとともに苦情の発生などに関する貴重な資料を御提供いただいた住宅メーカーの関係各位に、謝意を表します。

参考文献

- 1) 小野英哲, 横山 裕: 人間の動作により発生する床振動の振動感覚上の表示方法に関する研究 ―振動発生者と受振者が同じ場合―, 日本建築学会構造系論文報告集, 第381号, pp.1~9, 1987年11月
- 2) 小野英哲, 横山 裕: 人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究 ―振動発生者と受振者が同じ場合(動作した人間自身が床振動を感じる場合)―, 日本建築学会構造系論文報告集, 第394号, pp.8~16, 1988年12月
- 3) 横山 裕, 小野英哲: 人間の動作により発生する床振動の振動感覚上の表示方法に関する研究 ―振動発生者と受振者が異なる場合―, 日本建築学会構造系論文報告集, 第390号, pp.1~9, 1988年8月
- 4) 横山 裕, 小野英哲: 振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法の提示 人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究(第2報), 日本建築学会構造系論文報告集, 第418号, pp.1~8, 1990年12月
- 5) 横山 裕: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究 動的加振器, 受振器の設定および妥当性の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第466号, pp.21~29, 1994年12月
- 6) 横山 裕, 佐藤正幸: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究 衝撃的加振器の開発および振動減衰時間算出方法の妥当性の確認, 日本建築学会構造系論文集, 第476号, pp.21~30, 1995年10月
- 7) 横山 裕, 佐藤正幸: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究 仕上げ材が施された床に対する加振, 受振装置の適用方法の設定, 日本建築学会構造系論文集, 第490号, pp.17~26, 1996年12月
- 8) 横山 裕: 歩行により発生する床振動の評価方法および住宅における評価例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.299~302, 1999年9月
- 9) 日本建築学会: 建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 1991年4月
- 10) 柳田 裕: 床の振動性状と最適環境を考慮した設計法に関する研究 ―床振動評価基準に関する考察―, 日本建築学会計画系論文報告集, 第404号, pp.1~7, 1989年10月
- 11) 吉岡 丹, 小野英哲, 川村清志, 若ヶ原泰広: 建築物の床のかたさおよびその評価方法に関する研究 その2. 床のかたさに関する心理学的尺度と物理量の対応および床のかたさの評価式・最適値の表示, 日本建築学会論文報告集, 第246号, pp.17~24, 1976年8月

(2000年11月9日原稿受理, 2001年3月21日採用決定)